

RESEARCH ARTICLE

닥나무 톱밥 첨가량에 따른 표고 생육특성 비교

정연석, 장영선*, 유림, 가강현
국립산림과학원 산림소득자원연구과

Comparison of *Lentinula edodes* Growth Characteristics According to the Amount of Paper Mulberry Sawdust Added

Yeun Sug Jeong, Yeongseon Jang*, Rhim Ryoo, Kang-Hyeon Ka
Division of Special Forest Products, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

Corresponding author: idjys@korea.kr

ABSTRACT

We aimed to increase the utility of *Broussonetia kazinoki* (paper mulberry) by using its woody parts as a substrate for *Lentinula edodes* cultivation. Using different mixing ratios of paper mulberry and oak tree sawdust, five types of column-type media were prepared (1.2 kg each). Two *L. edodes* strains (NIFoS 2462 and NIFoS 2778) were used in this study. In the first flush, numerous small mushrooms were harvested because the fruited mushrooms were densely packed on the small media. The highest productivity was obtained with a 3:1 mixture of paper mulberry and oak tree sawdust (*Q. acutissima*:*Q. mongolica*, 1:1). In particular, for NIFoS 2462, the proportion of paper mulberry in the medium positively correlated with productivity. The size of NIFoS 2778 was uniform in all media tested. By contrast, the mushroom weight of NIFoS 2462 decreased, but the other characteristics were not significantly affected. Collectively, these findings suggest that *B. kazinoki* sawdust could be used to grow shiitake mushrooms and that some oak sawdust substitution is also possible. Our results could increase the utility of discarded by-products, such as sawdust.

Keywords: *Broussonetia kazinoki*, Cultivation, *Lentinula edodes*, Sawdust



OPEN ACCESS

pISSN : 0253-651X
eISSN : 2383-5249

Kor. J. Mycol. 2018 September, 46(3): 325-331
<https://doi.org/10.4489/KJM.20180033>

Received: July 13, 2018
Revised: August 22, 2018
Accepted: August 23, 2018

© 2018 THE KOREAN SOCIETY OF MYCOLOGY.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

표고는 주로 죽은 참나무류의 그루터기에서 발생하는 백색부후균이며, 유기물질의 순환에 중요한 역할을 한다. 우리나라를 비롯하여 일본, 중국 등 동북아 지역에서 주로 생산 및 소비되고 있으며, 예로부터 식용 및 약용으로 널리 이용되어 왔다[1]. 맛과 향을 겸비한 버섯은 현대인의 식생활에서 주요한 식품이며, 선진국 및 개발도상국에서 각광받는 자원이다. 특히 버섯이 지니는 기능적 요소로 인하여 버섯 재배는 새로운 소득작물로 각광받고 있다[2]. 표고는 대부분 상수리나무, 신갈나무 등과 같은 참나무류(*Quercus* spp.) 원목을 이용하여 재배한다[3]. 하지만 원목가격의 상승으로 인

해 자목 수급이 불안정해지고 인건비 상승, 고령화 등 여러 악조건으로 재배가 매우 불리한 상황이다[4]. 최근에는 원목에 비해 재배기간이 짧고 재배회수율이 좋은 톱밥배지로 전환되고 있는 추세이며, 표고 톱밥재배 기술에 대한 관심이 높아지고 있으나, 이 또한 중국, 일본 및 대만에 경쟁력에서 밀리고 있는 것이 현실이다[1].

한지제조용 원료로 사용되는 닥나무는 열매와 잎은 한약재로 사용되고 뿌리와 껍질은 항암효과가 있으며 추출물 및 분말은 의약품 및 화장품으로 사용되고 있다. 그러나 한지의 원료로 사용되는 수피는 닥나무 재적의 10~20%에 지나지 않고 나머지 목질부 부분은 아직 용도가 개발되지 못하여 거의 폐기 처리 되고 있는 실정이다[5]. 최근에는 한지의 소비증가와 닥나무의 집단재배를 고려하여 닥나무 목질부를 이용하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[6].

최근 경기도 포천시를 중심으로 닥나무 산업단지가 조성되고 있고, 그와 더불어 넓은 면적의 닥나무 조림이 이루어지고 있다. 한지를 만드는 재료는 나무의 수피 부분이며, 나무의 줄기 부분에 해당하는 목질 부분은 대부분 버려지고 있다. 따라서 본 연구에서는 참나무를 대체할 수 있는 배지 재료를 탐색하고자 닥나무의 목질부분을 이용하여 국내에서 많이 재배되고 있는 표고의 톱밥재배 가능성을 알아보고자 하였다. 이에 따라 경기도 포천시 닥나무 재배농가의 협조를 받아 한지제조 1차 공정을 마친 후 버려지는 부산물인 닥나무 목질부를 이용하여 표고 톱밥배지 재배를 시도하였다. 이를 통해 새로운 톱밥배지 재료를 개발하고, 버려질 수 있는 자원의 활용도를 높일 수 있다는 것에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다

재료 및 방법

균주 및 생산용 배지제조

표고 균주는 국립산림과학원 균주보존실에 potato dextrose agar (PDA) 배지에 4°C로 보존되어 있는 표고 균주(NIFoS 2462, NIFoS 2778)를 사용하였다. 표고 균주는 PDA 평판배지에 25°C에서 배양하여 접종원으로 사용하였다. 참나무류(*Quercus acutissima*, *Q. mongolica*) 톱밥은 황성톱밥(Pocheon, Korea)에서 구입하였고, 한지제조 1차 공정을 마친 닥나무(*Broussonetia kazinoki*)는 포천영농조합으로부터 제공받았다. 닥나무는 1 cm 크기 이내의 톱밥으로 가공하여 사용하였다.

종균 및 배양

접종원용 톱밥배지는 참나무 톱밥 80% (상수리나무 1:신갈나무 1), 밀기울 20%의 비율로 섞어 함수율 65%로 조절한 후 1 L 용량의 종균병에 650 g씩 넣어 고압증기멸균(100°C 60분, 121°C 90분)하였다. 표고 균주는 PDA 평판배지에서 일주일간 배양된 것을 2 × 2 cm 크기로 잘라 3개씩 각 종균병에 접종한 다음, 22°C 배양실에서 30일간 배양한 후 접종원으로 사용하였다. 톱밥배지는 1.2 kg 기동형 배지를 다섯 가지의 배지 조성으로 8배수 제작하였다(Table 1). 제작한 톱밥배지는 고압증기멸균 하였다. 종균병에 배양된 종균은 30~40 g씩 각 톱밥배지에 접종하여 22°C 배양실에서 배양하였다. 배양은 암배양 조건에서 90일, 명배양 조건에서 40일 배양하였다.

버섯의 생산성 검정 및 특성조사

배양이 완료된 톱밥배지는 비닐봉지를 개봉하여 1차 발생을 진행하였다. 발생 기간 동안에는 발생실 내부온도 18°C, 습도 80%를 유지하였다. 1차 발생 후 2주간 휴양 기간을 주었으며, 휴양 후에는

배지를 24시간 동안 침수한 다음 발생을 진행하였다. 버섯발생은 총 3차까지 진행하였고, 각 차수에 수확된 표고는 무게 및 수량을 조사하였다. 그리고 각 조성에 따른 자실체의 형태적 특성을 비교하기 위해 자실체 각각의 무게, 갓의 직경, 갓의 두께, 대 길이 등을 조사하였다. 조사가 끝난 버섯은 50°C 건조기에서 72시간 동안 건조시켰다.

통계분석

생산성 조사는 각 처리구당 8반복으로 수행된 결과값을 이용하여 평균 및 표준편차를 구하였으며, 모든 항목에 대한 상관관계를 알아보기 위해 SPSS 프로그램(PASW Statistics 18; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)으로 ANOVA 분석 후 Duncan's multiple range test 및 Scheffe test 의해 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

참나무 톱밥(상수리나무 1:신갈나무 1) 배지(조건 1)의 경우 60일간의 암배양 기간 동안 균사가 만연하였으나, 닥나무를 이용한 톱밥배지(조건 2)의 경우 90일간의 암배양 기간을 필요로 하였다. 참나무 톱밥과 닥나무 톱밥의 비가 3:1 (조건 3)인 배지는 60일, 1:1인 배지(조건 4)는 70일, 1:3인 배지(조건 5)는 85일 정도의 암배양 기간을 필요로 하였다. 2 kg 사각배지를 이용한 재배시험에서도 이와 같은 현상을 보였으며, 약 20일의 배양기간 차이를 보였다.

표고버섯 균주가 톱밥배지를 분해하는 능력이 배지의 조성에 따른 영향이 있는지 파악하기 위하여 각 배양기간마다 중량을 측정하여 중량감소율을 계산하였다. 실험에 사용된 두 균주 모두 배양 종료 결과 닥나무 톱밥배지(조건 2)에서의 중량감소율이 가장 낮게 나타났다(Fig. 1). 배양 초기에 NIFoS 2462 균주는 참나무 톱밥배지(조건 1)의 중량감소율이 가장 높게 나타났다. 닥나무 톱밥이 혼합된 배지는 이보다 낮은 중량감소율을 보였다. 암배양 기간 동안에는 참나무 톱밥과 닥나무 톱밥의 비가 1:1 (조건 4)인 배지에서 중량감소율이 가장 낮았다. 참나무 톱밥과 닥나무 톱밥의 비가 1:3 (조건 5)인 톱밥배지의 경우 명배양 기간 동안 배지의 중량이 가장 많이 감소하였다. 전체 배양 기간 동안 조건 1, 조건 3, 조건 5의 중량감소율은 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났으나, 평균값으로는 조건 5의 중량감소율의 수치가 가장 높게 나타났다(10.3%). NIFoS 2778 균주는 배양 기간 동안 전체적으로 참나무 톱밥배지(조건 1)의 중량이 다른 조건에 비해 많이 감소한 것을 볼 수 있다(14.2%, 120일). 특히 명배양을 진행하는 동안 중량이 많이 감소하였다. NIFoS 2778 균주도 배양 초기에는 참나무 톱밥배지(조건 1)의 중량이 더 많이 감소한 것으로 나타났으며, 배양기간 전체적으로도 다른 조건의 배지들보다 더 높은 중량감소율을 나타내었다.

Table 1. Substrates for the cultivation of *Lentinula edodes* and their mixing ratios

Symbol	Substrates and mixing ratio
Condition 1	40% <i>Quercus acutissima</i> : 40% <i>Quercus mongolica</i> : 20% wheat bran
Condition 2	80% <i>Broussonetia kazinoki</i> : 20% wheat bran
Condition 3	30% <i>Q. acutissima</i> : 30% <i>Q. mongolica</i> : 20% <i>B. kazinoki</i> : 20% wheat bran
Condition 4	20% <i>Q. acutissima</i> : 20% <i>Q. mongolica</i> : 40% <i>B. kazinoki</i> : 20% wheat bran
Condition 5	10% <i>Q. acutissima</i> : 10% <i>Q. mongolica</i> : 60% <i>B. kazinoki</i> : 20% wheat bran

Condition 1, oak tree sawdust; Condition 2, *B. kazinoki* sawdust; Condition 3, oak tree sawdust 3:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 4, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 5, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 3

8개 배지에서 생산된 버섯의 총 생산량 조사 결과 NIFoS 2778 균주는 4.33 kg(조건 5), 3.32 kg(조건 4), 3.26 kg(조건 1), 2.96 kg(조건 3), 2.92 kg(조건 2)순으로 나타났다. NIFoS 2462 균주는 4.65 kg(조건 5), 4.15 kg(조건 4), 3.11 kg(조건 2), 2.19 kg(조건 3), 2.01 kg(조건 1) 순으로 나타났으며, 1.2 kg 배지 당 표고버섯의 생산량(Fig. 2)은 총 생산량과 비슷한 경향을 나타내었다. 버섯 생산량은 기존에 널리 이용되는 참나무 톱밥배지보다 닥나무 톱밥을 혼합한 것이 더 높은 생산량을 나타내었다. NIFoS 2778와 NIFoS 2462 균주는 닥나무 톱밥과 참나무 톱밥의 혼합비가 3:1 (조건 5)인 배지에서

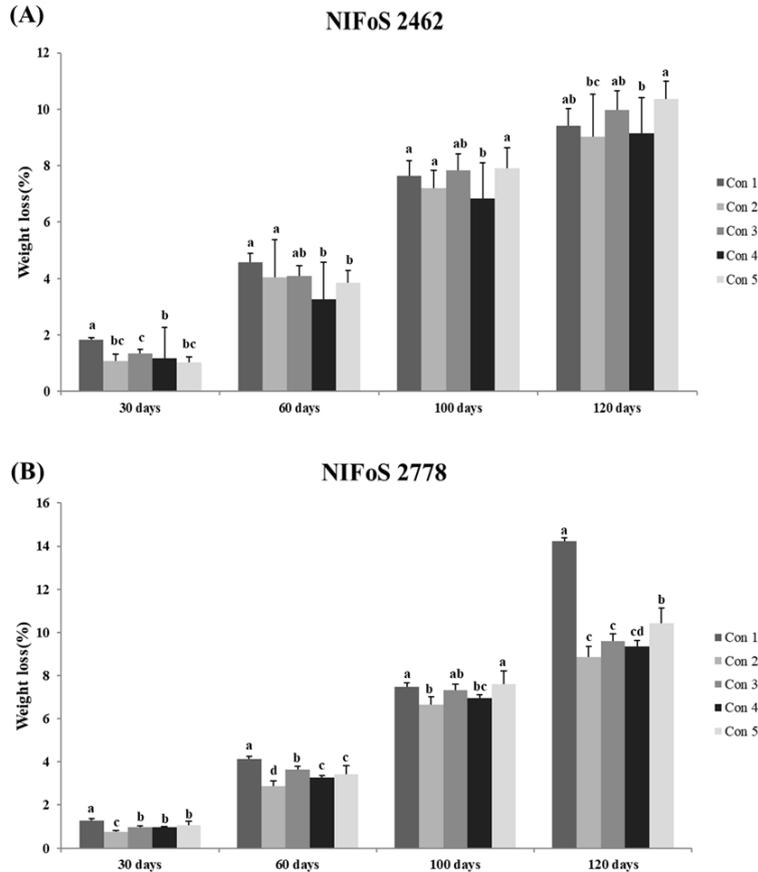


Fig. 1. Weight loss rate (%) of sawdust media during cultivation periods. They were measured at intervals of 30 days. Values are mean \pm SD (n = 8). In each strain, means with different letters are significantly different ($p < 0.05$). A, NIFoS 2462 strain; B, NIFoS 2778 strain; Con 1, oak tree sawdust; Con 2, *Broussonetia kazinoki* sawdust; Con 3, oak tree sawdust 3:*B. kazinoki* sawdust 1; Con 4, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 1; Con 5, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 3.

Table 2. Fruit body characteristics of *Lentinula edodes* (NIFoS 2778) cultivated in this study

NIFoS2778	Weight (g/ea)	Pileus length (mm)	Pileus diameter (mm)	Stipe length (mm)	Stipe diameter (mm)
Condition 1	22.4 ^a \pm 2.34	52.7 ^b \pm 3.7	13.7 ^a \pm 3.3	47.3 ^a \pm 11.4	10.5 ^a \pm 1.1
Condition 2	43.8 ^a \pm 13.4	69.7 ^a \pm 12.1	14.8 ^a \pm 1.6	59.4 ^a \pm 10.8	15.3 ^a \pm 4.0
Condition 3	44.7 ^a \pm 12.1	71.1 ^a \pm 7.2	14.3 ^a \pm 7.2	48.1 ^a \pm 7.3	14.4 ^a \pm 2.2
Condition 4	42.3 ^a \pm 11.4	69.9 ^a \pm 6.3	15.7 ^a \pm 2.3	46.1 ^a \pm 7.3	13.7 ^a \pm 2.7
Condition 5	42.2 ^a \pm 10.6	70.7 ^a \pm 8.0	12.4 ^a \pm 1.5	47.7 ^a \pm 5.5	12.8 ^a \pm 1.9

Condition 1, oak tree sawdust; Condition 2, *Broussonetia kazinoki* sawdust; Condition 3, oak tree sawdust 3:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 4, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 5, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 3 (n = 8 or 10).

대조군에 비해 각각 33%, 120% 높은 생산성을 나타냈다. 총 3차의 발생기간 동안 발생차수가 많아질수록 차수별 버섯생산량은 감소하였다. 두 균주 모두 1차 발생에서 가장 많은 버섯을 생산하였다. 단, 1차 발생작업에서는 버섯 개체의 대량발생으로 인해 크기가 작은 버섯이 많이 발생하였다. 이러한 현상은 2차 발생 작업부터는 나타나지 않았다. NIFoS 2778 균주는 대조군(조건 1)에서 발생된 버섯의 크기가 작았으며, 다른 배지 조성에서 발생된 버섯의 특성은 유사하게 나타났다고 볼 수 있었다(Table 2). NIFoS 2462 균주는 참나무와 다나무 톱밥의 혼합비가 1:3인 배지에서 발생된 버섯이 가장 무게가 가벼운 반면에 나머지 조건에서 발생된 버섯들은 유사한 특성을 보였다(Table 3). 배지의 조성이 다른 각각의 배지에서 대부분 유사한 형태의 버섯이 발생하였으며, 이를 통해 다나무 톱밥을 표고버섯 재배에 이용하더라도 기존의 참나무 톱밥배지와 유사한 특성의 버섯을 수확할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

톱밥배지를 이용한 표고 재배기술은 원목재배에 의한 버섯생산을 상당량 대체하였으며, 버섯의 생산과 소비를 확충시켰다. 표고재배에 사용되는 기질은 전형적으로 특정 지역에서 널리 퍼진 농업 폐기물 또는 천연 자원의 이용 가능성에 달려있다[7]. 표고재배는 자연에서 구할 수 있는 원목 또는 이를 톱밥으로 만들어 재배하는 것이 보편적인 방법이다. 여러 나라에서 각 지역에 적합한 톱밥배지를 개발하는 연구를 진행 중이다. 연구재료로는 쌀겨, 밀기울, 옥수수 부산물과 같은 농업부산물들이 많이 이용되고 있다. 이들 중 가장 널리 사용되는 배지조성으로는 참나무 톱밥과 밀기울과 같은 첨가제를 8:2의 비율로 혼합하여 사용하는 것이다[8]. 미국에서는 쌀겨와 밀기울을 1:1로

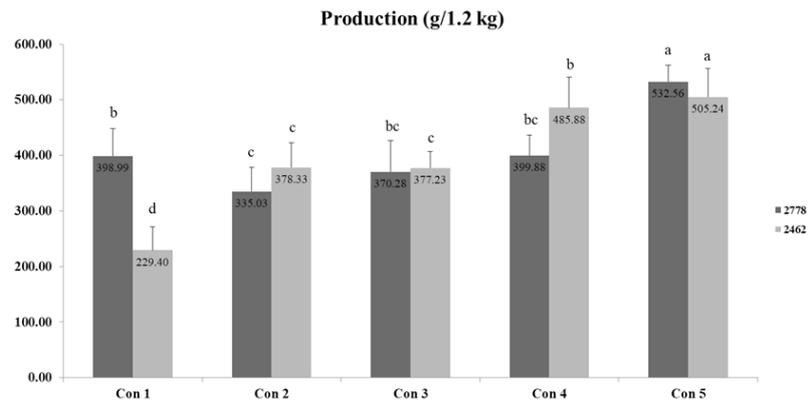


Fig. 2. Production of *Lentinula edodes* per 1.2 kg sawdust medium. Values are mean \pm SD (n = 8). In each strain, means with different letters are significantly different ($p < 0.05$). Con 1, oak tree sawdust; Con 2, *Broussonetia kazinoki* sawdust; Con 3, oak tree sawdust 3:*B. kazinoki* sawdust 1; Con 4, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 1; Con 5, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 3.

Table 3. Fruit body characteristics of *Lentinula edodes* (NIFoS 2462) cultivated in this study

NIFoS2462	Weight (g/ea)	Pileus length (mm)	Pileus diameter (mm)	Stipe length (mm)	Stipe diameter (mm)
Condition 1	47.1 ^a \pm 9.0	76.8 ^a \pm 10.4	16.2 ^a \pm 2.5	21.0 ^a \pm 3.2	59.6 ^a \pm 5.7
Condition 2	49.1 ^{ab} \pm 10.6	74.9 ^a \pm 6.9	15.7 ^a \pm 2.6	20.2 ^a \pm 1.8	59.9 ^a \pm 8.4
Condition 3	44.1 ^{ab} \pm 8.6	69.6 ^a \pm 8.5	14.2 ^a \pm 2.8	20.6 ^a \pm 3.9	50.6 ^a \pm 7.2
Condition 4	40.7 ^{ab} \pm 6.6	68.7 ^a \pm 7.5	16.1 ^a \pm 3.1	20.3 ^a \pm 1.4	54.1 ^a \pm 5.6
Condition 5	34.0 ^b \pm 4.7	62.8 ^a \pm 7.0	13.9 ^a \pm 1.4	21.0 ^a \pm 1.9	50.3 ^a \pm 7.1

Condition 1, oak tree sawdust; Condition 2, *Broussonetia kazinoki* sawdust; Condition 3, oak tree sawdust 3:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 4, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 1; Condition 5, oak tree sawdust 1:*B. kazinoki* sawdust 3 (n = 8 or 10).

혼합하여 첨가제로 넣어주었으며[9], 대만에서는 톱밥 84%, 쌀겨 5%, 밀기울 5%, 콩 3%, 석회 3% 비율로 혼합하여 톱밥배지를 만들었다. 스위스에서는 가문비나무 톱밥 75%, 밀기울 24%, 석회 1%를 혼합한 톱밥배지에서 표고버섯을 생산하는 연구를 진행하였고, 터키에서는 개암나무 껍질을 주재료로 하여 표고버섯 톱밥배지 재배 연구가 진행되었다[10]. 인도에서는 구하기 용이한 포플러, 티크 톱밥 및 수수, 백목분말, 곡물껍데기를 혼합하여 표고버섯을 생산하는 연구를 수행하였으며 수수를 첨가하였을 때 포플러 톱밥보다 높은 생산량을 나타냈다는 연구결과가 있다[11]. 최근 일본에서는 기존 참나무의 1/3 가격인 삼나무를 이용한 표고재배 연구가 진행되었다. 참나무 톱밥과 삼나무 톱밥을 혼합하였을 경우 기존의 참나무 톱밥배지 재배방법과 생산량에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 톱밥배지의 생산단가를 낮출 수 있는 가능성을 보여주었다[12]. 또한, 중국에서는 현지에서 쉽게 구할 수 있는 마미송(*Pinus massoniana*)을 주재료로 이용하여 표고, 느타리 등의 식용버섯을 재배하는 연구를 진행하였다[13].

표고의 톱밥재배에 사용되는 주재료는 참나무류인 상수리나무 또는 신갈나무 톱밥이며, 많은 수의 활엽수들이 활용되고 있고, 이와 더불어 표고재배는 점점 증가하고 있다. 따라서 앞으로 표고재배에는 다양한 종류의 톱밥 자원이 사용될 것이다. 이에 대비하여 침엽수 등 재질이 무른 나무나 현재 사용되지 않는 여러 수종들을 이용하여 표고와 같은 식용버섯을 재배하는 연구들이 진행되어야 한다. 각 지역에서 쉽게 구할 수 있거나 무분별하게 소모되는 자원을 이용한 버섯재배기술을 개발하여 보급한다면 향후 버섯재배의 지속적인 발전 및 농가의 재배원가 절감, 자원의 재활용 측면에서도 장점이 있다고 본다. 본 연구에 사용된 닳나무 톱밥은 표고재배에 사용될 수 있으며 참나무 톱밥을 일부 대체할 수 있는 가능성을 보여 주었으며, 폐기된 부산물의 가치를 높이는 것뿐 아니라 닳나무 자원의 가치 향상 및 농가의 부가가치 창출에도 도움이 되는 연구결과라고 생각한다. 이러한 분야의 지속적인 연구를 통해 실제 농가에서 활용이 가능한 재배시험 결과들을 도출하고 현장에 적용하는 것이 버섯산업에서 연구해야 하는 하나의 중요 분야라고 생각한다.

적요

우리는 수피를 사용 후 폐기되는 닳나무 목질부를 표고재배의 원료로 사용함으로써 실제 사용 가치를 높이기 위해 이 연구를 수행하였다. 닳나무 톱밥과 참나무 톱밥의 혼합 비율에 따라 1.2 kg의 기동형 배지를 5가지 조건으로 제작하였다. 두 가지 균주(NiFoS 2462, 2778)를 접종하여 암배양 90일, 명배양 40일을 실시하였다. 배양이 끝난 뒤, 18°C, 습도 85% 이상의 조건에서 발생작업을 실시하였다. 각 발생 기간 사이에는 2주간의 휴양기간을 두었다. 1차 발생과정에서 버섯발생의 밀도가 높아, 개체의 크기가 작은 버섯들이 수확되었다. 닳나무 톱밥과 참나무 톱밥(상수리나무 1:신갈나무 1) 혼합비가 3:1일 때 가장 높은 생산성을 나타내었다. 특히, NiFoS 2462는 닳나무 톱밥의 혼합 비율이 높을수록 생산성이 높다는 것을 보여 주었다. NiFoS 2778은 닳나무가 혼합된 배지에서 버섯의 크기가 유사하였다. 반면에 NiFoS 2462는 닳나무 톱밥과 참나무 톱밥이 혼합된 배지에서 중량이 감소하였으나, 다른 특성에서는 큰 차이가 나타나지는 않았다. 닳나무 톱밥은 표고 버섯 재배에 사용될 수 있으며 참나무 톱밥을 일부 대체할 수 있는 가능성을 보여 주었다. 그리고 폐기된 부산물의 이용 가치를 높이는 결과라고 생각되며 연구를 계속할 가치가 있다고 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by grant from the general project (FP0801-2016-01) of National Institute of Forest Science, Republic of Korea.

REFERENCES

1. Bak WC, Park YA, Lee BH, Ka KH, Park JH. Characteristics of newly bred shiitake strain "Chunbaegko". *Kor J Mycol* 2013;41:28-32.
2. Kim JY, Kwon HW, Ko HG, Hyun MW, Lee CJ, Kim SH. Investigation of heavy metals and residual pesticides from imported oak mushroom culture-inoculated sawdust media. *J Mushrooms* 2017;15:202-5.
3. Ryu SR, Bak WC, Koo CD, Lee BH. Studies on breeding and cultivation characteristics of *Lentinula edodes* strains for sawdust cultivation. *Kor J Mycol* 2009;37:65-72.
4. Jhune CS, Kong WS, Park HS, Cho JH, Lee KH. Mushroom growth and cultivation environment at cultivation house of vinyl bag cultivation shiitake mushroom on high-temperature period. *J Mushrooms* 2014;12:263-9.
5. Park SC, Ju YC, Oh SW. Characteristics of hanji wallpaper using ceramics from *Broussonetia kazinoki* Sieb. *J Agric Life Sci* 2014;48:31-7.
6. Byeon HS, Hwang KK, Lee DH, Hwang JW, Oh SW. Properties of woodceramics made from *Broussonetia kazinoki* Sieb.: effect of carbonization temperature. *J Agric Life Sci* 2010;44:21-7.
7. Plotnikov EV, Glukhova LB, Sokolyanskaya LO, Karnachuk OV, Solioz M. Effect of tree species on enzyme secretion by the shiitake medicinal mushroom, *Lentinus edodes* (Agaricomycetes). *Int J Med Mushrooms* 2016;18:637-44.
8. Miller MW, Jong SC. Commercial cultivation of shiitake in sawdust filled plastic bags. *Dev Crop Sci* 1987;10:421-6.
9. Royse DJ, Sanchez-Vazquez JE. Influence of precipitated calcium carbonate (CaCO₃) on shiitake (*Lentinula edodes*) yield and mushroom size. *Bioresour Technol* 2003;90:225-8.
10. Ozçelik E, Pekşen A. Hazelnut husk as a substrate for the cultivation of shiitake mushroom (*Lentinula edodes*). *Bioresour Technol* 2007;98:2652-8.
11. Puri S. Agricultural wastes as substrate for spawn production and their effect on shiitake mushroom cultivation. *Int J Sci Nat* 2011;2:733-6.
12. Nitta T, Kamei I, Sugamoto K, Meguro S. Shiitake (*Lentinula edodes*) cultivation in sawdust media consisting of kunugi (*Quercus acutissima*) mixed with sugi (*Cryptomeria japonica*): optimization of gaseous phase rate in media by three-phase-structure analysis. *J Wood Sci* 2016;62:452-9.
13. Zhang J, Du M. Application status and prospect of *Pinus massoniana* sawdust as the substrate for the cultivation of edible fungi. *Food Nutr Sci* 2017;8:1105-13.